

Primljen / Received: 22.6.2022.

Ispravljen / Corrected: 29.9.2022.

Prihvaćen / Accepted: 12.10.2022.

Dostupno online / Available online: 10.1.2023.

# Ponašanje jednorasponskoga dvoetažnog betonskog okvira armiranog bazaltnim vlaknima

## Autori:



Doc.dr.sc. **Gnanasundar Valarmathi Moorthy**  
Institut za tehnologiju Bannari Amman, Erode,  
Tamilnadu, Indija  
Odjel za građevinarstvo  
[gnanasundar@bitsathy.ac.in](mailto:gnanasundar@bitsathy.ac.in)  
Autor za korespondenciju



Doc.dr.sc. **Palanisamy Thangaraj**, dipl.ing.građ.  
Nacionalni institut za tehnologiju, Surathkal,  
Karnataka, Indija  
Odjel za građevinarstvo  
[tpalanisamycivil@nitk.edu.in](mailto:tpalanisamycivil@nitk.edu.in)



Prof.dr.sc. **Thirugnanam Gobi Shanmugam**  
Institut za tehnologiju cestovnog prometa,  
Erode, Tamilnadu, Indija  
Odjel za građevinarstvo  
[gsthirugnanam@gmail.com](mailto:gsthirugnanam@gmail.com)

Stručni rad

**Gnanasundar Valarmathi Moorthy, Palanisamy Thangaraj, Thirugnanam Gobi Shanmugam**

## Ponašanje jednorasponskoga dvoetažnog betonskog okvira armiranog bazaltnim vlaknima

U ovom je radu fokus na projektiranju konstrukcije, što je primarni aspekt građevinarstva. Ponašanje sustava armiranobetonskih (AB) okvira izloženih bočnom opterećenju i procjena stanja oštećenja konstrukcije još su uvijek izazovni zadaci u građevinarstvu. Trenutačno se za većinu konstrukcija koristi armirani beton. U radu je prikazano istraživanje ponašanja AB okvira s bazaltnim i čeličnim vlaknima pod cikličkim opterećenjem. Čelična i bazaltna vlakna usitnjena su na veličinu od 2,5 cm. Detalji armiranja izrađeni su prema standardu IS 13920-2016. Uzorak korišten za ovo istraživanje u obliku je jednorasponskog, dvokatnog okvira koji je izrađen od armiranog betona s usitnjenim čeličnim i bazaltnim vlaknima u dvama različitim omjerima. Izvedena su tri okvira. Jedan je okvir od armiranoga betona bez vlakana (konvencionalni beton), a druga dva izrađena su s vlaknima različitih omjera. Omjeri bazaltnih vlakana su 0,25 % i 0,50 % te su dodani uzorcima. Ostvareni eksperimentalni rezultat na uzorcima s 0,25 % bazaltnih vlakana ima bolju nosivost kao i najmanji međukatni pomak u odnosu na druga dva okvira. Duktilnost okvira s BFRC-om povećana je u usporedbi s konvencionalnim okvirom. Uočeno je to da je širina pukotina pri uporabi BFRC-a manja u usporedbi s konvencionalnim betonom.

### Ključne riječi:

betonski okvir, beton ojačan vlaknima, bazaltna vlakna, cikličko bočno opterećenje, međukatni pomak

Professional paper

**Gnanasundar Valarmathi Moorthy, Palanisamy Thangaraj, Thirugnanam Gobi Shanmugam**

## Structural behavior of a single bay two-story basalt fiber reinforced concrete frame

This study focuses on structural design, which is a primary aspect of civil engineering. Investigating the behavior of reinforced concrete (RC) frame systems subjected to lateral loading and estimating the damage state of a structure still remain challenging tasks in civil engineering. Reinforced concrete is currently used in a majority of constructions and Conventional buildings remain vulnerable to seismic earthquakes. The aim of this research is to identify how well RC frames with basalt and steel fibers perform under cyclic loading. Steel and basalt fibers are chopped to a size of 2.5 cm. The reinforcements details are made according to IS 13920-2016. The concrete specimen used for this work is in the form of a single-bay, two-story frame, which is composed of reinforced concrete along with chopped steel and basalt fibers of two different proportions. Three frames are cast. One is a RC concrete frame with no fiber materials (conventional concrete) and the other two frames are cast with different proportions of fiber content. The basalt fiber is added to the specimens in proportions of 0.25 % and 0.50 %. The experimental outcome attained from the specimens of 0.25 % of basalt fibre has superior load-carrying capacity as well as minimum story drift than the other two frames. The ductile behavior of BFRC is increased compared to that in conventional ones. It is observed that the crack width of the BFRC is less when compared to that in the conventional concrete.

### Key words:

concrete frame, fiber-reinforced concrete, basalt fibre, cyclic lateral loading, story drift

## 1. Uvod

Beton armiran bazaltnim vlaknima nova je tehnika za poboljšanje konstrukcijskog ponašanja betona. Bazalna vlakna umiješaju se u konvencionalni beton te se proučava ponašanje jednorasponskoga, dvoetažnoga betonskog okvira. Određena je temeljna reakcija granice podnošenja opterećenja, tvrdoće, savitljivosti i disperzije energije. Tri armiranobetonska okvira bez posmičnog zida u sredini i s njim bila su izložena statičkome cikličkom horizontalnom opterećenju. U pregledu opisane su potpune granice opterećenja, od osnovnog perioda konstrukcije do krajnjeg opterećenja. Jedan od rubova bio je izložen vodoravnome cikličkom opterećenju sve dok nije izgubio ekvivalentnu nosivost, a drugi je zid bio izložen opterećenju od 80 % koje se odnosi na opterećenje do sloma [1]. Za određivanje savojnog ponašanja prije zamora uzorka i poslije njega bila su korištena čelična vlakna [2]. Brnistra (prirodno vlakno) koristi se za određivanje parametara cementnog kompozita. Koriste se vlakna brnistre u obliku lana i konoplje [3]. Staklena vlakna koriste se za određivanje krutosti i duktilnosti u polimernom betonu. Vlakna se koriste u postotku od 0 % i 1,5 % u polimernom betonu [4]. Vlakna se koriste u postotku od 0,5 % i 0,1 % u betonu za određivanje mehaničkog ponašanja betona [5]. Sisal vlakno (prirodno vlakno) koristi se za određivanje mehaničkih svojstava betona u postotku od 0,05 % do 0,40 % [6]. Primjeri su naknadno bili ugrađeni i izloženi sličnom rasporedu opterećenja u drugoj fazi. Prikaz isprobanih primjera promatran je u pogledu histereznog odziva, nosivosti, krutosti i duktilnosti. Vidljivo je to da je naknadno pojačani okvir, koji je bio izložen nižoj razini opterećenja u prvoj fazi, pokazao bolje ponašanje [7]. Kada su im predstavljeni potresi, stručnjaci su provjerili mjerljivu vezu između zahtjeva duktilnosti i globalnih zahtjeva za fleksibilnošću uklanjanja značajnih konstrukcija. Komponente s dodijeljenim odnosom druge krivulje preuzete su za komponente osovine i presjeka, a izrađeni su matematički modeli peterokatnih i deseterokatnih AB okvira [8]. Primjenom metode postupnog guranja i metode nelinearnoga vremenskog zapisa potresa utvrđeni su najekstremniji globalni zahtjevi fleksibilnosti konstrukcije i najveći zahtjevi duktilnosti [9]. Fleksibilnost krivulje komponente značajne konstrukcije važan je pokazatelj za kontrolu razine elastičnosti. S povećanjem trenutačne brzine, zahtjeva za duktilnost luka presjeka i zahtjeva za fleksibilnost uklanjanja projektnog povećanja, izvode se seizmička procjena i ispitivanje opasnosti uobičajenih mjesta koje podupiru značajne konstrukcije. Tri su uzorka odvojena idejama graničnog plana, uzimajući u obzir granicu posmika i granicu savijanja, te su jamstvo za prijenos opterećenja na oslonce. Rezultati analize vremenskog zapisa prikazani su u odnosu na pomake tla i prikazuju privremenu ukupnu disipaciju energije za okvire [10]. Izgled triju uzoraka ispitan je uzimajući u obzir granicu posmika, granicu savijanja

i nosivost na proklizavanje. Uspoređena je procijenjena ekonomska šteta građevina za ta tri uzroka. Prikaz izloženih uzoraka AB-a upotpunjen je u ispitnim i znanstvenim radovima. Zaključci izvedeni iz rezultata navode na to da je ponašanje izloženoga AB okvira određeno ispitivanjem istovjetno onome u pregledu ostalih radova. Nelinearnim ispitivanjem procjenjuju se pravila kao što su sigurnost i ponašanje pri slomu. Rezultati ispitivanja pokazuju to da se opterećenje pri popuštanju, krajnje opterećenje i krutost razlikuju za 15 % u usporedbi s konvencionalnim betonom. Logična strategija dala bi korisne naknadne podatke o AB okvirima u usporedbi s pregledom ranijih ispitivanja [11]. Većina ispitivanja bavila se seizmičkim horizontalnim cikličkim opterećenjem na okvir, ali nedostaju ispitivanja na BFRC okvirima. Dakle, u ovome ispitivanju istraženo je ponašanje okvira s BFRC-om [12-14].

Temeljni cilj ovog istraživanja jest odrediti konstrukcijsko ponašanje AB okvira s BFRC-om. Istraživanje se bavi krutošću, duktilnošću, kapacitetom apsorpcije energije i uzorkom pukotina. Ovaj rad iznosi jasnu ideju o okviru i njegovu ponašanju te o disperziji energije pri bočnom opterećenju. Ostali ciljevi jesu:

- Određivanje isplativnosti korištenja betonskih okvira armiranih bazaltnim vlaknima.
- Određivanje ponašanja konstrukcije BFRC betonskog okvira.
- Proučavanje uzoraka pukotina AB i BFRC betonskih okvira.

## 2. Korišteni materijali

### 2.1. Betonski materijali

Za potrebe ovog istraživanja korišten je cement CHETTINAD (robna marka) razreda 43 prilagođen OPC normi IS:12269-2013. Betonski uzorak ispitan je prema prijedlogu norma IS:4031-2019 i IS:4032-1985 (potvrđena 2019.). Svojstva cementa prikazana su u tablici 1. Kao sitniji agregat korišten je lokalno dostupan pijesak (M-sand). Svojstva pijeska navedena su u tablici 2. Korišten je drobljeni granitni krupni agregat maksimalne veličine 20 mm. Eksperimenti su provedeni kako bi se utvrdila svojstva krupnog agregata prema IS specifikacijama indijskog standarda IS:383-2016. Fizikalna svojstva krupnog agregata navedena su u tablici 3. Termomehanički obrađene (TMT) šipke različitih veličina korištene su kao uzdužna armatura u raznim slučajevima pojedinih primjera iz ispitnog uzorka. TMT šipke također će se koristiti kao spone u temeljima, gredama i stupovima. TMT šipke ispitane su, a njihova mehanička svojstva navedena su u tablici 4. Korištene su armaturene šipke promjera 6 mm, 8 mm i 12 mm HYSD. Dostupna pitka voda unutar kampusa korištena je i za proizvodnju betona i za njegu uzoraka, a to je potvrđeno standardom IS:3025-1987 (potvrđena 2019.).

Tablica 1. Svojstva cementa

Br.	Značajke	Eksperimentalna vrijednost	Prema IS: 8112-1939
1.	Konzistencija cementa	32 %	-
2.	Početno vrijeme stvrdnjavanja	36 min	Ne smije biti kraće od 30 min
3.	Konačno vrijeme stvrdnjavanja	5 h i 10 min	Ne bi trebalo trajati više od 10 sati
4.	Zapreminska težina	3,16	3,15

Tablica 2. Svojstva sitnog agregata

Br.	Značajke	Eksperimentalna vrijednost
1.	Zapreminska težina	2,7
2.	Upijanje vode	1 %
3.	Zona	U skladu s III.

Tablica 3. Svojstva krupnog agregata

Br.	Svojstva	Promatrane vrijednosti
1	Modul finoće	8,270
2	Zapreminska težina	2,720
3	Upijanje vode	1,37 %

## 2.2. Bazaltna vlakna

Bazaltno vlakno jest prirodno vlakno dobiveno iz magmatskih stijena u rastaljenom stanju. U ovom su istraživanju korištena bazaltna vlakna duljine 25 mm, prikazana na slici 1. Omjer širine i duljine vlakna jest 833. Bazaltna vlakna kupljena su od treće strane u Gujaratu, a fizička svojstva dobivena su od dobavljača. Bazaltna vlakna dodana su u omjeru od 0,25 % do 0,50 % na ukupni volumen betona. To je naznačeno u oznakama uzoraka BFRCO (0 % bazaltnih vlakana dodanih u uzorak koji se naziva i konvencionalni beton), BFRC1 (0,25 % bazaltnih vlakana dodanih u uzorak) i BFRC2 (0,50 % bazaltnih vlakana dodanih u uzorak).



Slika 1. Bazaltno vlakno

## 2.3. Sastav mješavine betona

Mješavina je određena pomoću norme IS: 10262-2019. S obzirom na rezultate istraživanja, planirana je mješavina M20 i pripremljena mješavina betona s vodocementnim omjerom v/c od 0,50. Podaci o materijalima potrebnima za kubni metar betona navedeni su u tablici 4.

Tablica 4. Svojstva TMT šipki

Br.	Svojstva	Promatrane vrijednosti
1	Modul elastičnosti	199 GPa
2	Vlačna čvrstoća	544 N/mm <sup>2</sup>
3	Granica popuštanja	500 N/mm <sup>2</sup>

Za ovaj projekt pripremljeni su uzorci okvira od armiranog betona u mjerilu 1 : 5. Kalup mora biti dovoljno krut da izdrži naprezanja koja nastaju zbog rukovanja i zbijanja betona tijekom ugrađivanja. Pripreme kalupa za uzorak okvira prikazane su na slici 2.



Slika 2. Kalup za izradu ispitnog uzorka betonskog okvira

Tablica 5. Materijali potrebni za kubni metar betona u kg

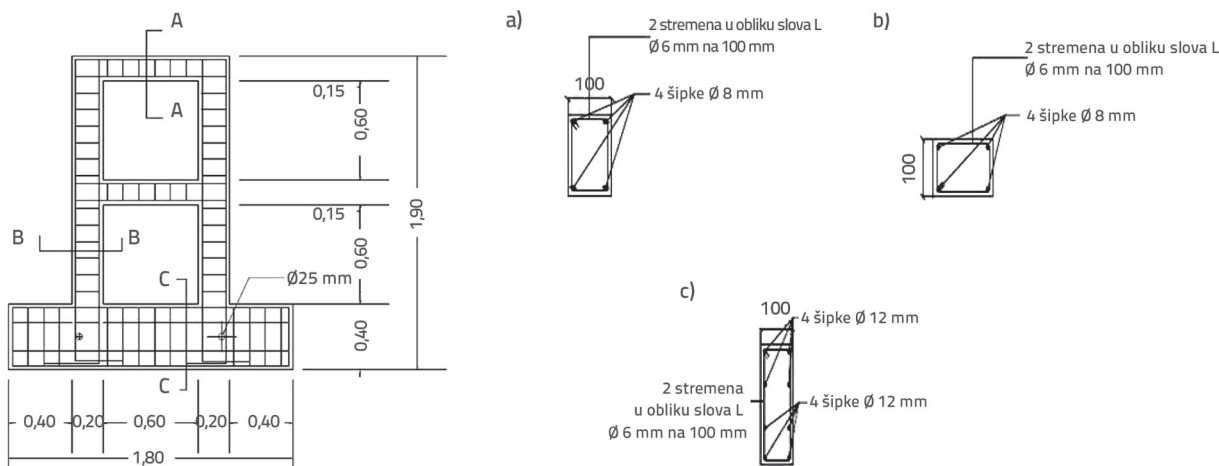
Razred betona	Cement	Sitni agregat	Krupni agregat	Voda	V/C
M20	383	565,16	1229	191	0,50

## 2.4. Izrada armature za uzorak okvira

Metoda konfiguracije graničnog stanja koja primjenjuje normu IS 456:2000 preuzeta je za plan armature stupa i grede u neovisnom smislu i u skladu sa svim točkama norme IS13920:1993. Osigurana je dovoljna duljina sidrenja armature grede u stup. Armatura je pripremljena za izradu dva uzorka okvira: jedan je AB konvencionalni okvir, a drugi BFRC okvir.

Tablica 6. Pojediniosti o armaturi modela smanjenog na petinu

Elementi	Veličina [mm]	Zaštitni sloj [mm]	Glavna armatura	Spone
Greda	100 x 150	15	∅ 8 mm (4 šipke)	∅ 6 mm / 100 mm
Stup	200 x 100	15	∅ 8 mm (4 šipke)	∅ 6 mm / 100 mm
Temeljna greda	100 x 400	15	∅ 12 mm (8 šipke)	∅ 6 mm / 100 mm



Slika 3. Detalji armiranja okvira: a) presjek A-A; b) presjek B-B; c) presjek C-C

Pojediniosti armature za model stvarnih okvirnih konstrukcija u mjerilu 1 : 5 navedene su u tablici 6. Izrada armature za uzorak okvira prikazana je na slici 3.

### 2.5. Izrada uzorka RCC okvira

Okviri su vrlo osjetljivi tijekom potresa [13]. Izazovni je zadatak oblikovati konstrukcije koje mogu izdržati potrese. Betonski okviri su izrađeni u vodoravnom položaju i kasnije nagnuti okomito za izradu ploča. Prije postavljanja oplata na ispitnu površinu potrebno ju je očistiti i izravnati površinu. Drvene su oplata premazane uljem i prikladno podešene na ispravan položaj na površini. Armaturni koš za okvir postavljen je unutar oplata, uz osiguravanje zaštitnog sloja. Čelična pločica zavarena je na razini svakog kata. U laboratoriju su krupni agregati i sitni agregati bili miješani u suhom stanju u miješalici, nakon čega su u miješalicu dodani cement i voda te jednolično miješani oko tri minute. Svježi beton stavljen je u oplatu za odgovarajuću mješavinu, u tri sloja i ručno zbijen udarcima. Nakon 24 sata oplata je uklonjena, a uzorci su se stvrdnjavali ukupno 28 dana. Armatura u oplatu prikazana je na slici 4. Prikazani su planovi armature RCC (eng. reinforced concrete conventional - RCC) okvira. Prikazani su i uzorci RCC okvira nakon vađenja iz kalupa.



Slika 4. Oplata s rasporedom armature

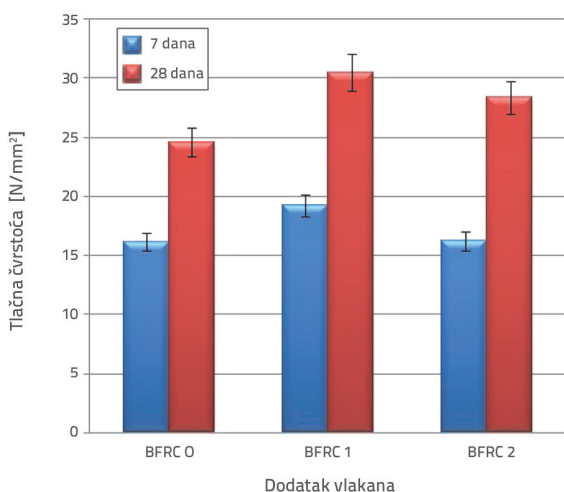


### 3. Ispitivanje

Mehaničko ponašanje betona armiranog bazaltnim vlaknima također je određeno prema normi IS 516:1959. Svaki je uzorak testiran u laboratoriju pod cikličkim opterećenjem. Uzorak je bio pridržan temeljnim blokom. Hidraulička preša bila je postavljena bočno u okvir za opterećenje. Za ispitivanje uzoraka korištena je ručna hidraulička preša kapaciteta 100 kN.

#### 3.1. Tlačna čvrstoća

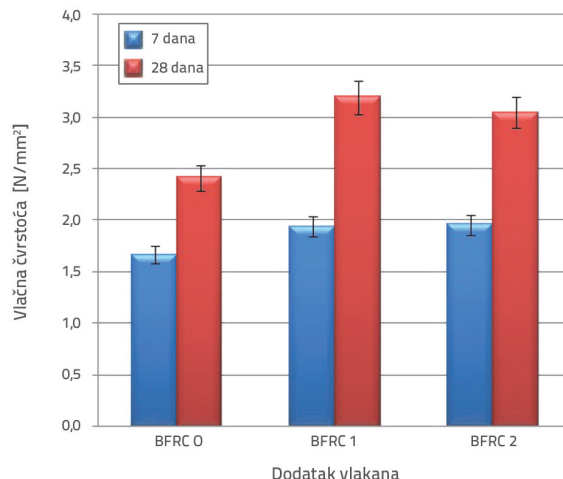
Tlačna čvrstoća betona ispituje se kako bi se utvrdila sposobnost betona da izdrži opterećenje bez sloma. Izrađeni su uzorci u obliku kocke od 150 mm x 150 mm x 150 mm koji su ispitani nakon sedmodnevnog, odnosno 28-dnevnog razdoblja stvrdnjavanja prema normi IS 516:1959 za konvencionalne i BFRC betone. Za proporcije mješavine vlakana BFRC1 najveća tlačna čvrstoća jest 30,443 N/mm<sup>2</sup>. Beton BFRC1 daje bolji rezultat. Viši je nego kod konvencionalnog betona, kao što je to prikazano na slici 5. Optimalan postotak mješavine vlakana od 0,25 % bazalta bolji je.



Slika 5. Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće

#### 3.2. Ispitivanje vlačne čvrstoće

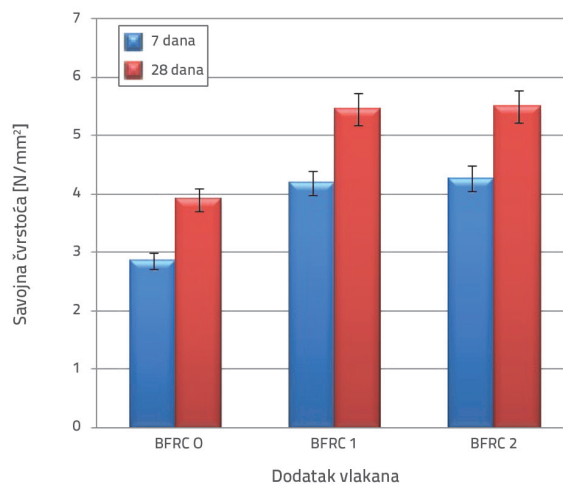
Ispitivanje vlačne čvrstoće provedeno je za konvencionalni beton i beton armiran vlaknima (BFRC), na prizmama širine 150 mm i visine 300 mm. Ti konvencionalni i BFRC uzorci ocijenjeni su pomoću IS 516:1959 referenci za određivanje kvalitete betona sedmog i 28. dana nakon izvođenja. Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 6. Za uzorak BFRC1 maksimalna vlačna čvrstoća jest 3,197 N/mm<sup>2</sup>. Uzorak BFRC1 (0,25 % bazalta) daje bolji rezultat, veći od konvencionalnog betona. BFRC 2 daje veći postotak prirasta čvrstoće, ali na temelju troškova BFRC 1 daje bolji rezultat. BFRC 1 osigurava čvrstoću veću za 33,3 % od konvencionalnog betona.



Slika 6. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće

#### 3.3. Ispitivanje savojne čvrstoće

Za mjerenje savojne čvrstoće betona prizmatični uzorci dimenzija 100 mm x 100 mm x 500 mm običnog betona i BFRC-a lijevu se i testiraju. Ti BFRC i kontrolni uzorci testirani su u univerzalnom stroju za ispitivanje u skladu s normom IS 516:1959 kako bi se utvrdilo to da beton doseže dovoljnu čvrstoću pri starosti od sedam i 28 dana. Maksimalna savojna čvrstoća BFRC-a jest 5,495 N/mm<sup>2</sup>. BFRC 1 daje bolji rezultat koji je veći od rezultata BFRC-a i konvencionalnog betona kao što je to prikazano na slici 7. BFRC1 doprinosi povećanju savojne čvrstoće za 42,6 % u odnosu na konvencionalni beton.



Slika 7. Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće

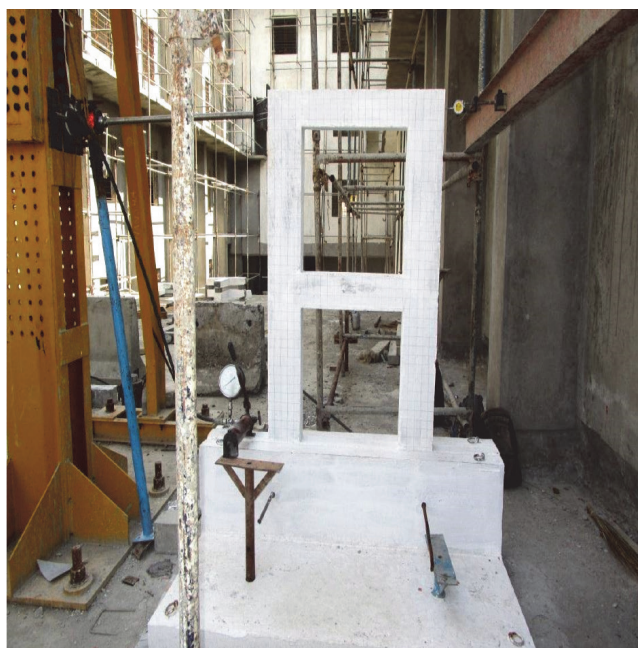
#### 3.4. Cikličko opterećenje

Za određivanje cikličkog opterećenja promatranja su se provodila u intervalu opterećenja od 5 kN do 40 kN. Za prvi ciklus bočno opterećenje primijenjeno je na vrhu grede, a zatim je opterećenje smanjeno na nulu, što se naziva ciklusom napredovanja te je zabilježen pomak uslijed primjene bočnog opterećenja.

Promatranja su se provodila u intervalima od 5 kN. Također, u drugom ciklusu opterećenje je ponovno povećano na 10 kN, a zatim smanjeno na nulu. Za svaki je ciklus opterećenje povećano za 5 kN u odnosu na prethodni ciklus i smanjeno na nulu. Za posljednji ciklus opterećenje je povećano na krajnje opterećenje sloma.

### 3.5. Raspored opterećenja

Primjeri modela smanjenih na jednu petinu ispitani su u okviru za opterećenje. Okvir je postavljen na sredinu temeljnog bloka. Temeljni blokovi postavljaju se kako bi okvir čvrsto stajao na presjeku u okomitom položaju te služi za postavljanje uređaja za mjerenje na različitim područjima. RCC uzorci okvira s rasporedom sila i mjernih uređaja pri ispitivanju prikazani su na slici 8.



Slika 8. RCC uzorak okvira s ispitnim postavom

## 4. Rezultati i rasprava

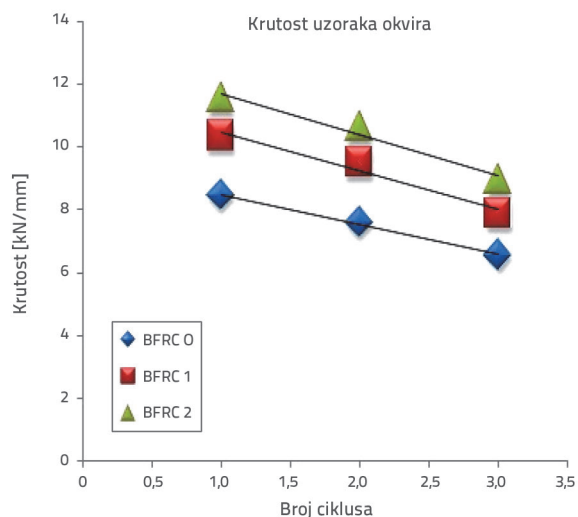
Određene su deformacije za svaki od uzoraka pod cikličkim opterećenjem. Tipična krivulja opterećenje – pomak za betonski uzorak prikazana je na slici 13. Ponašanje RCC uzorka prikazano je na slici 13.a. Ponašanje BFRC uzorka pod opterećenjem prikazano je na slikama 13.b i 13.c. Krivulja opterećenje – pomak pokazuje primjer cikličkog ponašanja RCC i BFRC okvira te se može primijetiti to da BFRC okvir smanjuje preraspodjelu u svakom ciklusu na račun RCC-a. Zaključeno je to da dodavanje BFRC-a smanjuje kvalitetu rubova greda – stup i povećava krajnje opterećenje. Tijekom cikličkog opterećenja, prilikom uklanjanja opterećenja, vrijednost pomaka vraća se do nule. Tijekom ponovnog opterećenja apsorbira se više energije za stvaranje nove pukotine. To može uzrokovati progresivni slom.

### 4.1. Krutost okvira

Kod upetog oslonca krutost zgloba smanjuje se kada je zglob izložen cikličkom opterećenju. To smanjenje krutosti uzrokovano je početnom pojavom malih pukotina unutar spoja, a ponekad će ono ubrzati iscrpljivanje krajnjih vlakana betona. To povećava nedostatke unutar spojeva, što rezultira smanjenjem krutosti. Krutost spoja nije u cijelosti utvrđena korištenjem kuta zaokreta. Krutost se karakterizira kao količina energije potrebna da izazove jedinični otklon uzorka. Sustav za izračunavanje bočne krutosti okvira jest sljedeći:

- Povučena je tangenta za svaki ciklus histereznih krivulja pri opterećenju od  $P = 0,75 P_u$ , pri čemu je  $P_u$  maksimum tog ciklusa.
- Određen je nagib tangente povučene na svaki ciklus, što predstavlja krutost u tom ciklusu.

Iz slike 9. jasno je to da je uzorak u okviru s BFRC-om imao veću krutost od konvencionalnog uzorka. Dakle, BFRC1 pokazuje veću krutost i manju degradaciju krutosti od RCC-a.

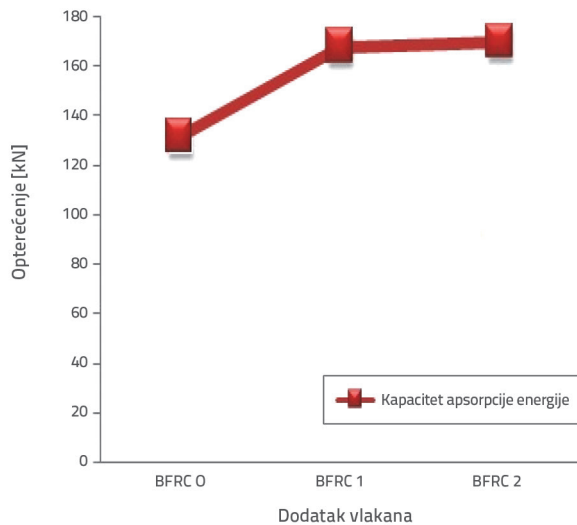


Slika 9. Krutost uzoraka

### 4.2. Kumulativni kapacitet trošenja energije

Uzorak je izložen bočnome cikličkom opterećenju koje se, na primjer, postiže tijekom jakog vjetrova ili potresa te se svakim ciklusom opterećenja unosi određena količina energije u okvir. To je jednako opterećivanju okvira do krajnjih granica nosivosti.

Opće granice zadržavanja energije tijekom različitih ciklusa opterećenja određene su kao površina ispod histereznih petlji s grafikona sila – pomak. Utvrđeno je to da energija zadržana u RCC okviru uzorka iznosi 139,3 kNmm. Energija zadržana u BFRC okviru uzorka apsorbirana je kao 178,6 kNmm. Granice zadržavanja energije za svaki od ciklusa i svaki od primjera prikazani su na slici 10.

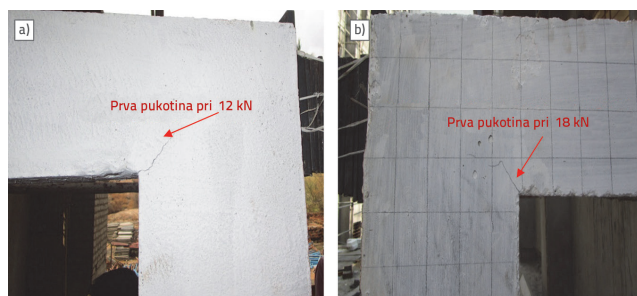


Slika 10. Usporedba kapaciteta trošenja energije

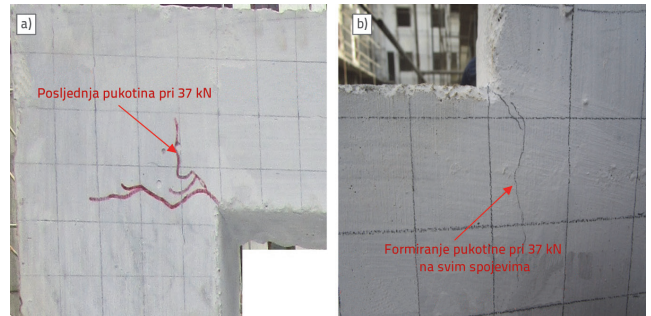
### 4.3. Pukotine na uzorcima okvira kod ispitivanja

Uzorak pukotina RCC i BFRC uzoraka okvira pod različitim opterećenjima za različite uzorke prikazan je na slikama 11.a i 11.b.

Za RCC prednje cikličko opterećenje prikazano je na slikama 11. i 14., a za BFRC na slikama 12. i 15.

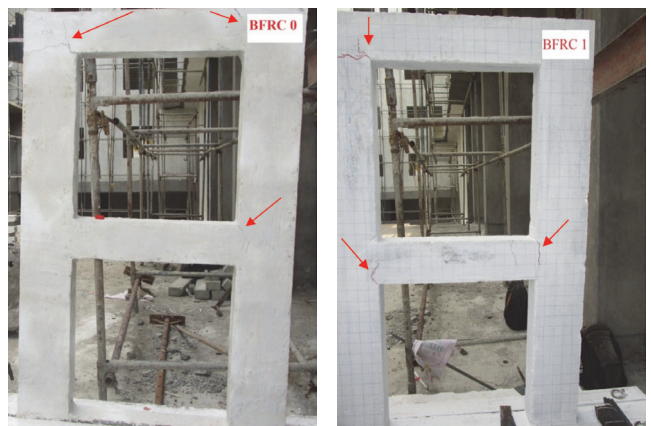


Slika 11. a) Prva pukotina na uzorcima okvira: a) konvencionalni okvir; b) BFRC okvir

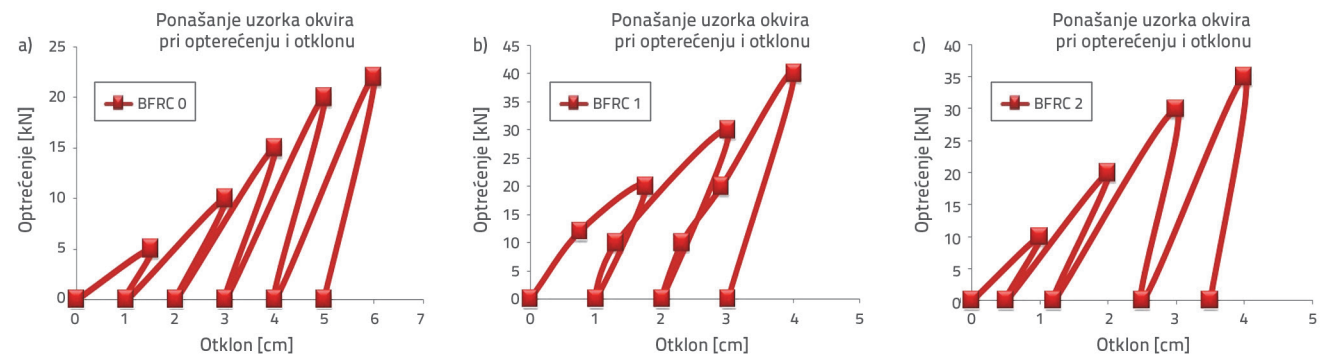


Slika 12. Konačna pukotina u uzorcima okvira BFRC1

Cijeli uzorak okvira demonstrirao je isti uzorak sloma s prvom pukotinom koja se razvijala na površini spoja pod cikličkim opterećenjem. Prva je pukotina nastala pri 12 kN na spoju grede i stupa RCC uzorka, a na BFRC1 uzorku pri 18 kN. U drugom ciklusu razvilo se nekoliko pukotina, ali je tijekom rasterećenja širenje pukotina zaustavljeno. Pri daljnjem opterećenju u trećem ciklusu uzorci su bili opterećeni do sloma, pukotine su se počele širiti i uzorci su se slomili pri krajnjem opterećenju. Svi su uzorci pokazali isti uzorak pukotina i način sloma, ali krajnje opterećenje i širina pukotine varirali su od jednog do drugog uzorka.



Slika 14. Prikaz pukotina kod RCC okvira Slika 15. Prikaz pukotina kod BFRC okvira



Slika 13. Dijagram sila-pomak kod ispitivanja okvira

## 5. Zaključak

Eksperimentalno istraživanje provedeno je na modelima smanjenima na petinu jednorasponskoga dvoetažnog modela okvira od armiranog betona (RC) i betona armiranog bazaltnim vlaknima (BFRC). Iz rezultata ispitivanja izvedeni su sljedeći zaključci:

- Tlačna čvrstoća svih razreda BFRC-a postignuta tijekom 28 dana očvršćivanja na temperaturi okoline veća je od čvrstoće RCC okvira.
- Pri usporedbi BFRC1 daje ekonomičnu i dobru tlačnu čvrstoću, 8,7 % veću od uzoraka BFRC0 (konvencionalnog betona).
- Dakle, povećanje koncentracije bazaltnih vlakana rezultira povećanjem vlačne čvrstoće. BFRC1 daje 33,3 % veću vlačnu čvrstoću u usporedbi s BFRC0.
- BFRC1 također je pokazao bolju savojnu čvrstoću. Rezultati tog ispitivanja bili su 42,6 % viši od rezultata tradicionalnog betona.
- Uzorak BFRC imao je veću krutost od konvencionalnog uzorka, ali je također BFRC1 pokazao bolji rezultat na temelju ekonomskih radnih uvjeta. Ako se koristi BFRC2, to dovodi do neekonomičnosti.
- Uzorak BFRC1 pokazao je 28,2 % veći kumulativni kapacitet trošenja energije u usporedbi s uzorkom BFRC0. BFRC 2 također je dao bolji rezultat, ali je on bio manji od rezultata uzorka BFRC1.
- Odnosi sile i pomaka uzoraka BFRC1 bili su bolji u usporedbi s uzorcima BFRC0. Primjeri betona armiranog bazaltnim vlaknima pokazali su bolje ponašanje pod maksimalnim vodoravnim cikličkim opterećenjem od 40 kN, što odgovara otklonu manjem za 3 mm.
- BFRC okvir pokazao je veću krutost u usporedbi s konvencionalnim RCC okvirom.
- Zbog načina razvoja pukotina u BFRC okviru, on je podnio veće opterećenje u usporedbi s uzorkom RCC okvira.

## LITERATURA

- [1] Taranu, G.: Comparative study on the structural behavior of a 30m height building with a RC frames structure located in a high intensity seismic area, *Smart Mater. Struct.*, 1141 012032., 2021.
- [2] Blagojević, P., Blagojević, N., Kukaras, D., Živković, D., Šutanovac, A.: Mechanical flexural properties of concrete with melt-extract stainless steel fibres, *GRAĐEVINAR*, 72 (2020) 12, pp. 1155-1164, <https://doi.org/10.14256/JCE.2992.2020>
- [3] Juradin, S., Boko, I.: Possibility of cement composite reinforcement by Spanish broom fibres, *GRAĐEVINAR*, 70 (2018) 6, pp. 487-495, <https://doi.org/10.14256/JCE.2293.2017>
- [4] Sharaky, I.A., Eldin, H.K.S., Shehata, M.M., Mohamed, H.: Flexural Response of RC beams cast with normal and steel fibre concrete internally reinforced with various types of FRP bars, *GRAĐEVINAR*, 72 (2020) 12, pp. 1117-1130, <https://doi.org/10.14256/JCE.3009.2020>
- [5] Gnanasundar, V.M., Palanisamy, T., Thirugnanam, G.S., Vishalachi, C.: Experimental Analysis of Glass Fibre in Concrete, *Materials Research Proceedings*, 23 (2022), pp. 246-254, <https://doi.org/10.21741/9781644901953-28>
- [6] Gnanasundar, V.M., Palanisamy, T., Thirugnanam, G.S., Preetha, V.: Mechanical Properties of Fiber Reinforced Concrete by using Sisal Fiber with M-Sand as Fine Aggregate, *Materials Research Proceedings*, 23 (2022), pp. 76-82, <https://doi.org/10.21741/9781644901953-10>
- [7] Devi, N., Subramanian, G., Santhakumar, A.R.: Structural Response of Multi-Bay Multistory Lateral Load Resisting Systems under Seismic Type Loading, *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 2 (2009), pp. 145-153.
- [8] Luca, A.D., Mele, E., Molina, J., Verzeletti, G., Pinto, A.V.: Base isolation for retrofitting historic buildings: Evaluation of seismic performance through experimental investigation. *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 30 (2001) 8, pp. 1125-1145.
- [9] Ventura, C.E., Liam Finn, W.D., Lord, J.F., Fujita, N.: Dynamic characteristics of a base isolated building from ambient vibration measurements and low level earthquake shaking, *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 23 (2002) 4, pp. 313-322.
- [10] Yoshioka, H., Ramallo, J.C., Spencer, B.F.Jr.: Smart base isolation strategies employing magneto rheological dampers *J. Eng. Mech.*, 128 (2002) 5, pp. 540-551.
- [11] Wu, Y.M., Samali, B.: Shake table testing of a base isolated model, *Eng. Struct.*, 24 (2002) 9, pp. 1203-1215.
- [12] Stewart, J.P., Conte, J.P., Aiken, I.D.: Observed behaviour of seismically isolated buildings *J. Struct. Eng.*, 125 (1999) 9, pp. 955-964.
- [13] Kelly, J.M.: *Earthquake resistant design with rubber*, Springer, 1997.
- [14] Skinner, R.I., Robinson, W.H., McVerry, G.H.: *An introduction to seismic isolation* Wiley Chichester U.K., 1993.